

**ОБУХОВ А.Н.**, канд.техн.наук, доц., ДГМА, Краматорск  
**ПАЛАМАРЧУК В.А.**, канд.техн.наук, доц, ДГМА, Краматорск  
**ТАРАСОВ А.Ф.**, докт.техн.наук, проф., ДГМА, Краматорск  
**СЕРЕДА В.Г.**, канд.техн.наук, доц, ДГМА, Краматорск  
**ГОРБАЧ Е.В.**, ассистент, ДГМА, Краматорск

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ТРЕНИЯ ДЛЯ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ОБКАТКИ ТРУБ**

Получены аналитические зависимости для описания обеих частей рабочей поверхности инструмента для обкатки деталей с различным профилем сечения на торце трубы, а также получено уравнение линии их сопряжения. Поставлена и решена задача оценки величины отклонения спроектированной инженерными методами поверхности инструмента трения от её точного значения.

Отримані аналітичні залежності для опису обох частин робочої поверхні інструмента для обкочування деталей з різним профілем перетину на торці труби, а також отримане рівняння лінії їх спряження. Поставлена і розв'язана задача оцінювання величини відхилення спроектованої інженерними методами поверхні інструмента тертя від її точного значення.

Analytical dependences for the description of both parts of a working surface of the tool for a running in of details with a various profile of section at a pipe end face are received, and also the equation of a line of their interface is received. The problem of size estimation of a deviation of the tool surface of a friction designed by engineering methods from its exact value is put and is solved.

Тангенциальная обкатка инструментом трения представляет собой деформирование предварительно нагретого до ковочной температуры конца трубчатой заготовки профилированным инструментом, поступательно движущимся в направлении, перпендикулярном к оси вращения заготовки [1,2]. По авторскому свидетельству СССР 285882 «рабочая поверхность инструмента образована сопряжением последовательно расположенных участков поверхностей тел вращения и задаётся сечениями, перпендикулярными направлению перемещения инструмента, профиль которых определяется углом между касательными к образующей обкатываемой поверхности и осью вращения инструмента» [3]. При взаимодействии вращающейся заготовки с инструментом переменного профиля происходит постепенное деформирование конца заготовки до заданной формы. Рабочую поверхность инструмента можно разделить на две части: формирующая часть, представляющая собой часть линейчатой поверхности, образованной касательными, проведенными к образующей обкатываемой поверхности, и калибрующая часть, образованная сопряжением двух поверхностей тел вращения (рис. 1).

Известные методы проектирования рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки труб [4,5,6] в сущности, основаны на этом же дискретном процессе построения сечений, определяемых касательными, проведенными к образующей обкатываемой поверхности. При проектировании

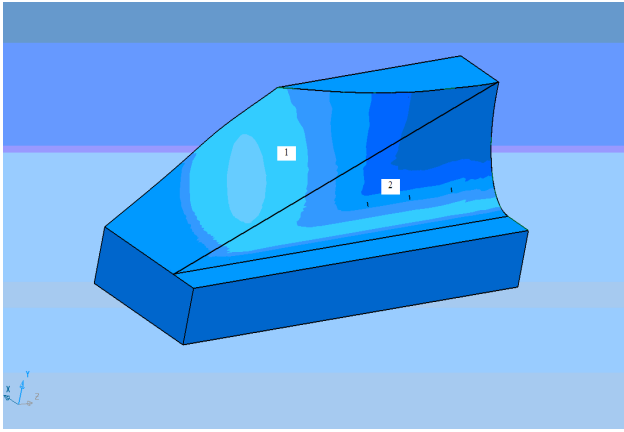


Рис. 1. Инструмент трения:  
1 - формующая часть рабочей поверхности; 2 – калибрующая часть рабочей поверхности

предварительно вычисляют и формируют массивы координат точек пересечения рабочей поверхности с гранями инструмента. Затем эти точки наносят на модель инструмента и плавно их соединяют.

Другим направлением проектирования рабочей поверхности инструментов трения для тангенциальной обкатки является использование CAD-систем. В работе [7] данная задача решена на основе использования системы поверхностного проектирования Delcam PowerSHAPE.

На плоскости строилась система касательных к образующей днища заданного к получению изделия. Затем касательные размещались в пространстве в соответствии с требованиями технологического процесса, и по ним создавалась линейчатая поверхность рабочего профиля инструмента. Дискретный характер построения сечений при этом не меняется.

Таким образом, оба метода проектирования имеют один существенный недостаток: рабочая поверхность инструмента трения может иметь непрогнозируемые отклонения от ожидаемых размеров, порожденные неточностью нанесения размеров в первом случае и непредсказуемостью алгоритма построения поверхности в системе Delcam PowerSHAPE во втором. Необходимо оценить величину таких отклонений.

Целью данной работы является: разработать метод оценки величины отклонения спроектированной инженерными методами поверхности инструмента трения от её идеального образа.

Построим аналитические зависимости для описания формующей части рабочей поверхности инструмента трения для обкатки эллиптического днища. Искомая поверхность должна быть линейчатой, причём её должны составлять касательные к образующей заданной к обработке заготовке (рис. 2).

Уравнение образующей в параметрическом виде:

$$x = a \cdot \sin t; \quad y = b(1 - \cos t). \quad (1)$$

Запишем уравнение касательной:

$$Y - y = y'_x (X - x). \quad (2)$$

Найдем производную  $y'_x$

$$y'_x = \frac{y'_t}{x'_t} = \frac{b}{a} \cdot \frac{\sin t}{\cos t}. \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в (2) и после преобразований получим:

$$Y = b(1 - \cos t) + \frac{b}{a} \operatorname{tg} t (X - a \sin t). \quad (4)$$

При этом координата  $z$  изменяется по закону

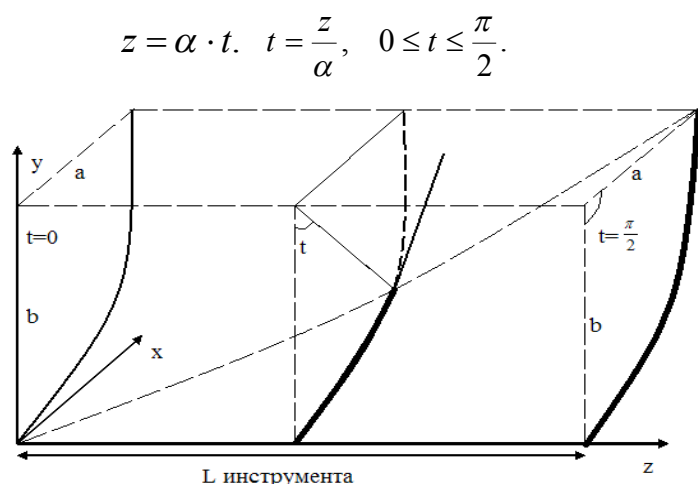


Рис. 2. Расчетная схема для построения аналитических зависимостей.

Уравнение (4) и будет искомым уравнением формирующей части рабочей поверхности инструмента для обкатки эллиптического днища.

При  $a = b = R$  можно получить уравнение формирующей части рабочей поверхности инструмента для обкатки сферического днища радиуса  $R$ .

$$Y = R(1 - \cos t) + \operatorname{tg} t(X - R \sin t). \quad (5)$$

$$z = \alpha \cdot t. \quad t = \frac{z}{\alpha}, \quad 0 \leq t \leq \frac{\pi}{2}.$$

Калибрующая часть рабочей поверхности инструмента для обкатки представляет собой часть цилиндрической поверхности:

- в случае эллиптического цилиндра:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(y-b)^2}{b^2} = 1. \quad (6)$$

- в случае кругового цилиндра:

$$x^2 + (y-b)^2 = R^2. \quad (7)$$

Найдем линию пересечения поверхности (4) с цилиндром (6). Совместно решив эти уравнения, получим уравнение линии

$$\begin{aligned} x &= a \cdot \sin t; \\ y &= b(1 - \cos t); \\ z &= \frac{2L}{\pi} t. \end{aligned} \quad (8)$$

В случае сферического днища, совместно решив уравнения (5) и (7), получим уравнение части дуги винтовой линии

$$\begin{aligned} x &= R \cdot \sin t; \\ y &= R(1 - \cos t); \\ z &= \frac{2L}{\pi} t. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, мы показали, что линия, разделяющая формирующую и калибрующую части рабочей поверхности (рис.1) является частью дуги винтовой линии.

Для автоматизации построения в CAD-системе полученной трехмерной рабочей поверхности инструмента необходимо выполнить расчет координат ее точек. Алгоритм расчета и построения 3D модели инструмента в CAD-системе приведен на рис. 3.

Шаг расчета по координатам  $x$ ,  $z$  должен обеспечивать требуемые параметры точности аппроксимации поверхности средствами CAD-системы. Чтобы контролировать и не допускать резких переходов по поверхности можно, например, на каждом шаге проверять условие, при котором разница между координатами соседних точек не превышала бы определенной величины, заданной пользователем, и менять шаг расчета. В результате расчета формируется и записывается файл заданной структуры, чтобы по массиву координат точек выполнить построение 3D модели инструмента с помощью средств, имеющихся у системы проектирования. Интеграция с CAD-системой осуществляется посредством API интерфейса.

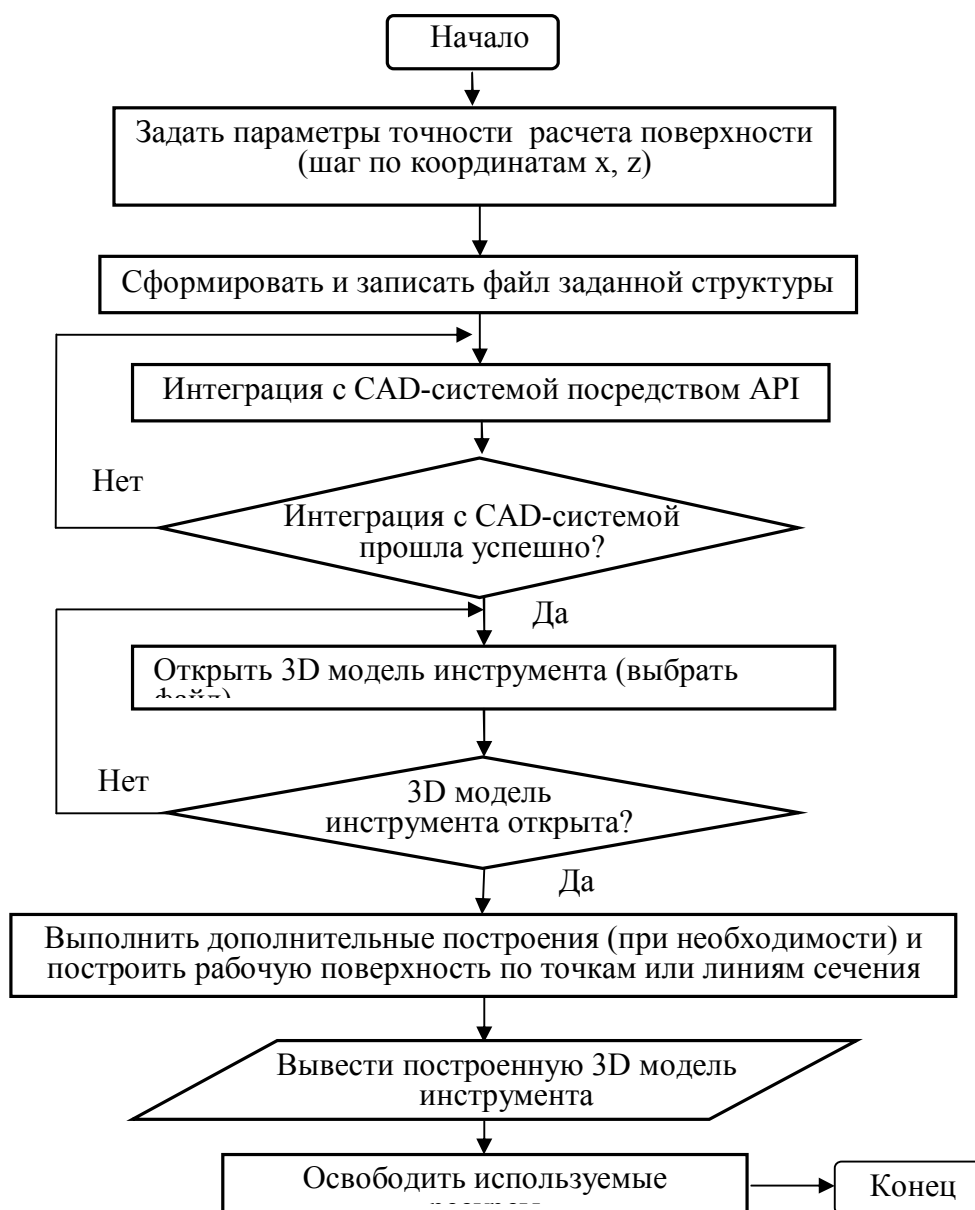


Рис. 3. Алгоритм расчета и построения 3D модели инструмента в CAD-системе

Предварительно в САД-систему загружается модель заготовки инструмента, чтобы на ней расположить рабочую поверхность. Для некоторых САД-систем необходимо также выполнять предварительную аппроксимацию массива точек линиями, чтобы система проектирования сумела в автоматическом режиме создать поверхность и 3D модель инструмента в целом. Построенная 3D модель инструмента записывается в файл. В более сложных случаях для построения поверхности требуется отдельная аппроксимация ее частей и их построение с контролем пересечения в пространстве.

Отклонения координат рабочей поверхности инструмента, полученных инженерными методами, от ожидаемых размеров, полученных из аналитической модели, могут быть оценены непосредственно в САД-системе путём наложения двух поверхностей. Либо такая оценка может быть проведена численными методами.

**Выводы:** Построены аналитические зависимости для описания формирующей части рабочей поверхности инструмента трения для обкатки сферических и эллиптических днищ. Координаты точек формирующей поверхности, полученные из этих зависимостей, посредством API интерфейса передаются в САД-систему, что позволяет сравнить их с поверхностями, построенными средствами поверхностного проектирования.

**Список литературы:** 1. Капорович В.Г. Обкатка в производстве металлоизделий. – М.: Машиностроение, 1973. – 168с. 2. Капорович В.Г. Производство деталей из труб обкаткой. – М.: Машиностроение, 1978. – 136с. 3. А.С. 285882 Инструмент для тангенциальной обкатки труб В21D 3/06, Бюллетень 14 от 8 04 1967г. 4. Производство изделий машиностроения горячей обкаткой: монография/ Под ред. В.С. Рыжикова, В.К. Удовенко – Краматорск: ДГМА, 2006. – 284 с. 5. Середя В.Г., Паламарчук В.А., Горбач Е.В. Проектирование рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки труб с использованием ЭВМ // Обработка материалов давлением. – 2010. – № 3(24), Краматорск, 2010, 232 с. С. 180-184 6. Обухов А.Н., Тарасов А.Ф., Паламарчук В.А., Середя В.Г., Горбач Е.В., Моделирование рабочей поверхности инструмента для тангенциальной обкатки труб // Обработка материалов давлением. – 2011. – № 2(27), Краматорск, 2011, 232 с. С. 186-189. 7. Тарасов А.Ф., Паламарчук В.А., Горбач Е.В., Корнева М.Л. Особенности проектирования инструмента для тангенциальной обкатки трубчатых заготовок в среде Delcam PowerSHAPE // Нові рішення в сучасних технологiях, Вісник Національного технічного університету «ХПІ», N57, Харків, 2010, 288 с. , с. 75-79